

## АСПЕКТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА КОНЦЕНТРАЦИИ НАПРЯЖЕНИЙ В СУДОВЫХ ПРЕРЫВИСТЫХ СВЯЗЯХ

**Коробанов Ю. Н.**, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой конструкции корпуса корабля Национального университета кораблестроения имени адмирала С. О. Макарова (г. Николаев), E-mail: yuriy.korobanov@niuos.edu.ua;

**Коршиков Р. Ю.**, к.т.н., доцент, доцент кафедры судостроения Национального университета кораблестроения имени адмирала С. О. Макарова (Херсонский филиал), E-mail: rk\_hfnuk@mail.ru;

**Коршиков Ю. С.**, ст. преподаватель кафедры физико-математических дисциплин Национального университета кораблестроения имени адмирала С. О. Макарова (Херсонский филиал), E-mail: rk\_hfnuk@mail.ru

*В современных судовых конструкциях достаточно часто приходится применять прерывистые связи. Жизнеспособность таких судовых конструкций с прерывистыми связями оценивается значением коэффициента концентрации напряжений. В настоящее время из-за многообразия форм сопряжения прерывистой и непрерывной частей судовой конструкции различен и подход многих авторов к методу определения коэффициента концентрации напряжения.*

*В настоящей работе проведен анализ степени участия прерываемой связи в составе всей судовой конструкции с позиций уровня повышения напряжений. Выполнено исследование напряженного состояния прерывистых связей с сопряжением по радиусу дуги окружности между прерывной и непрерывной частями пластины при простом растяжении.*

*За основу анализа приняты результаты расчетных процедур методом граничных элементов (МГЭ) в сравнении с работами других авторов.*

*Проведенный в работе сравнительный анализ показал, что использование такого понятия как коэффициент концентрации напряжений следует учитывать в зависимости от того, к чему отнесены максимальные напряжения. В работе отмечено, что наибольшие напряжения могут быть отнесены или к средним напряжениям непрерывной части конструкции, или к средним напряжениям, возникающим в области сопряжения того сечения, которое испытывает эти максимальные напряжения.*

**Ключевые слова:** Прерывистые связи, растяжение, коэффициент концентрации напряжений.

**Постановка проблемы.** Прерывистые связи в корпусных конструкциях давно интересуют кораблестроителей, так как являются концентраторами напряжений конструкций. Одной из характеристик влияния прерывистой связи на работу всей конструкции является коэффициент концентрации напряжений, позволяющий установить жизнеспособность судовой конструкции.

**Анализ последних исследований.** Множество работ посвящено конструированию прерывистых связей судового корпуса в частности применительно к расчету судовых надстроек [1, 2, 3]. Информация в них разноречива и разобцена по большому количеству источников в силу многообразия форм сопряжения прерывистой и непрерывной частей конструкции. Значения коэффициентов концентрации напряжений для подобных форм сопряжения прерывистых связей отличаются друг от друга, поскольку используются различные подходы в их определении.

Автор [4] утверждает, что коэффициенты концентрации напряжений следует фиксировать во многих точках проектируемой конструкции. Большинство работ посвящено анализу концентрации напряжений на примере пластин [5, 6], изредка на оболочках [7]. Только несколько работ посвящено концентрации не только в пластинах, но и в палубных перекрытиях [2] и судовых надстроек [3].

При использовании численных методов оценки напряженно – деформативного состояния прерывистой конструкции точность определения коеффициента концентрации напряжений зависит от величины граничного элемента или конечной ячейки в методе конечных элементов. Применительно к методу граничных элементов такой анализ был проведен в [8]. Влияние длины прерывной части на концентрацию напряжений

в прерывистых связях проанализировано в [9]. В работе [10] предложено не ограничиваться определением только коэффициентов концентрации напряжений прерывистых связей, но и определять коэффициенты жесткости и эффективности.

**Цель статьи и формулировка задач исследования** состоит в определении коэффициентов концентрации напряжений в местах сопряжения прерывистых связей, а также в оценке напряженно-деформационного состояния прерывистой конструкции при простом растяжении. Анализ степени участия прерываемой связи в составе всей конструкции с позиций уровня повышения напряжений выполнен с использованием программ расчёта основанных на методе граничных элементов (МГЭ).

**Изложение основного материала.** Среди достаточно простых инженерных задач интерес вызывает прерывистые связи, имеющие вид пластины, ширина которых изменяется по форме дуги окружности. Интерес к прерывным связям объясняется возможностью отождествлять пластину, подвергнутую растяжению с надстройкой судна за счет выступающих листов бортовой обшивки. Такое предложение сформулировано в [2]. Пластина постоянной толщины  $t$  подвергнута продольному растяжению, рис. 1а.

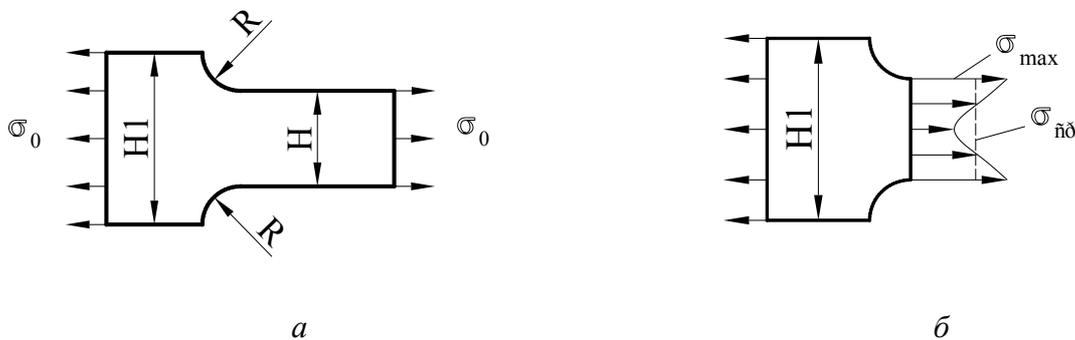


Рисунок 1 – Схема растяжения прерывистой связи: **а** – отождествление с  $\sigma_0$ ; **б** – отождествление с  $\sigma_{cp}$

Результаты напряженно – деформативного состояния получены методом граничных элементов (МГЭ). Авторский вариант программ построен на методе фиктивных нагрузок [1]. Прерывистые связи подвергались продольному растяжению  $\sigma_0$  для отношений  $H1/H=1,1$  и  $H1/H=1,5$ .

Согласно [2], коэффициент концентрации напряжений  $\alpha$  определяет отношение наибольшего напряжения  $\sigma_{max}$  в зоне повышенных напряжений в конструкции, вызванных влиянием прерывистой связи, к среднему напряжению в конструкции вне пределов прерывистой связи  $\sigma_0$ . Величину принято выражать формулой:

$$\alpha = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_0} \quad (1)$$

В некоторых других источниках [7], коэффициент концентрации напряжений  $K$  определяют как отношение наибольшего напряжения  $\sigma_{max}$  к среднему напряжению  $\sigma_{cp}$  в этом сечении, рис. 1б. Величина коэффициента  $K$  выражается отношением:

$$K = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_{cp}} \quad (2)$$

Разница в коэффициентах концентрации напряжений, представленных выражениями (1) и (2) состоит в определении напряжений, к которым относятся максимальные. Напряжения  $\sigma_0$  определяются выражением

$$\sigma_0 = \frac{P}{H \cdot t}; \quad (3)$$

$$\sigma_{cp} = \frac{P}{H_i \cdot t}, \quad (4)$$

где  $H$  и  $H_i$  – высота непрерывной части пластины, и высота пластины в районе сопряжения. Подставив выражения (3) и (4) в (1) и (2) получим отношение коэффициентов концентрации напряжений  $\alpha/K$  выражаются через соотношения  $H$  к  $H_i$  в виде.

$$\alpha/K = H/H_i. \quad (5)$$

На рис. 2 представлены значения этих коэффициентов  $\alpha$  и  $K$ , в зависимости от относительного радиуса сопряжения  $R/H$ . Здесь же представлены результаты расчета коэффициентов  $\alpha$  и  $K$ , полученные методом граничных элементов (МГЭ).

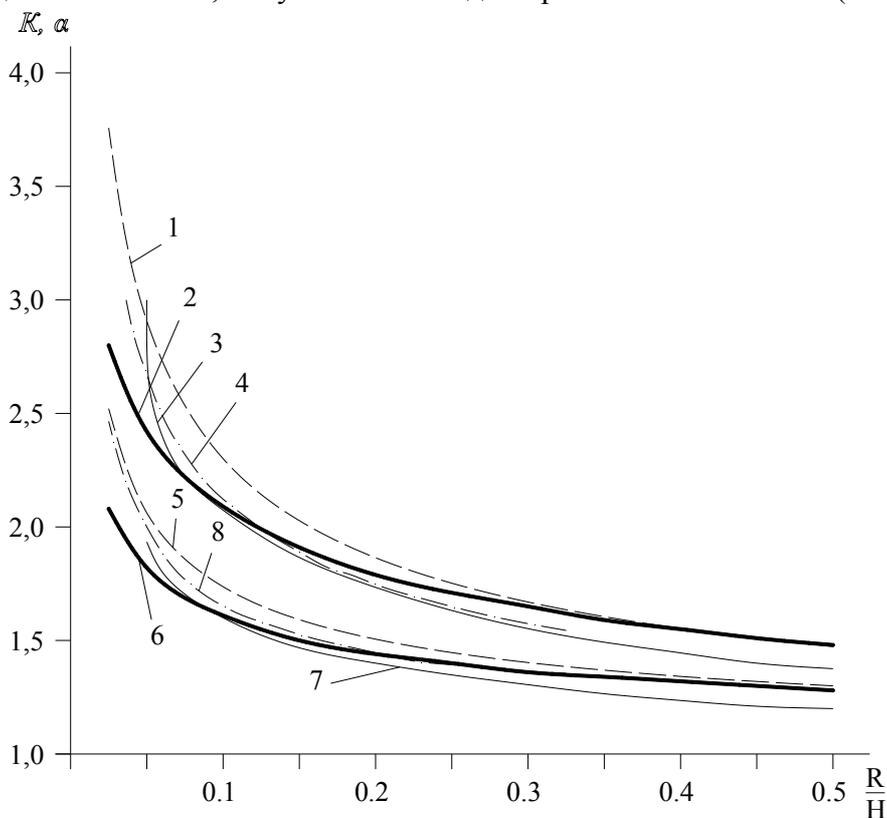


Рисунок 2 – Кривые изменения коэффициентов концентрации напряжения ( $K$  и  $\alpha$ ) при разных отношениях  $H_1/H$ :

1 –  $\alpha$  при  $H_1/H=1,5$  по МГЭ; 2 –  $K$  при  $H_1/H=1,5$  по МГЭ; 3 –  $K$  при  $H_1/H=1,5$  по [5]; 4 –  $K$  при  $H_1/H=1,5$  по [7]; 5 –  $\alpha$  при  $H_1/H=1,1$  по МГЭ; 6 –  $K$  при  $H_1/H=1,1$  по МГЭ; 7 –  $K$  при  $H_1/H=1,1$  по [5]; 8 –  $K$  при  $H_1/H=1,1$  по [7]

Из рис. 2 видно что значения  $\alpha$  (1, 5) больше чем значения  $K$ , пропорционально отношению  $H/H_i$  и отвечают условию (5). Значения коэффициентов  $K$  в [5] и [7] немного разнятся между собой (3 и 4, 7 и 8). Полученные кривые расчета МГЭ для  $K$  похожи по своему характеру и повторяют форму кривых из [5] и [7].

**Выводы.** Проведенный сравнительный анализ показал, что использование таких понятий, как коэффициент концентрации напряжений следует учитывать в зависимости от того, к чему отнесены максимальные напряжения. Как отмечено, здесь наибольшие напряжения могут быть отнесены или к средним напряжениям непрерывной части конструкции, или к средним напряжениям, возникающим в области сопряжения того

сечения, которое испытывает эти максимальные напряжения. Использованный метод граничных элементов приемлем для решения инженерных задач других конструкций содержащих изменяющиеся сечения и концентрацию напряжений.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коробанов Ю. Н. Анализ предпосылок использования методов граничных элементов в судостроительных системах автоматизированного проектирования / Коробанов Ю. Н., Лищук О. М., Лищук И. М. // Зб. наук. праць НУК. – Миколаїв : НУК, 2006. – № 2 (407). – С. 31–38.
2. Сиверс Н. Л. Расчет и конструирование судовых надстроек / Н. Л. Сиверс. – Л. : Судостроение, 1966. – 299 с.
3. Короткин Я. И. Прочность корабля / Я. И. Короткин, Д. М. Ростовцев, Н. Л. Сиверс. – Л. : Судостроение, 1974. – 432 с.
4. Шиманский Ю. А. Проектирование прерывистых связей судового корпуса / Ю. А. Шиманский. – Л. : Судпромгиз, 1949. – 160 с.
5. Joseph E Shigley. Mechanical Engineering Design / Joseph E. Shigley, Charls R. Miske, Richard G. Budynas – Seven Edition, 2003 Mc Graw – Hill. Internation Edition. – 1030 p.
6. Ferdinand P. Mechanics of Materials. SI Metric Edition. / P. Ferdinand, E. Bear, Russell Johnston, JR. McGraw – Hill Ryerson Limited. 2nd Printing, 1987. – 610p.
7. Peterson R. E. «Design Factors for Stress Concentration», Machine Design. / R. E. Peterson, vol. 23, no.2, February 1951, p. 169.
8. Коробанов Ю. Н. Анализ коэффициентов концентрации напряжений прерывистых связей при изменении длины граничного элемента / Коробанов Ю. Н., Кузнецов А. И., Коробанова А. А. // Зб. наук. праць НУК. – Миколаїв : НУК, 2014. – № 5. – С. 22–26.
9. Сегаль В. Е. Влияние длины прерывной части на концентрацию напряжений в прерывистых связях / В. Е. Сегаль // Судостроение. – 1967. – № 10. – С. 11–14.
10. Справочник по строительной механике корабля / Под общ. ред. академика Ю.А. Шиманского. – Л. : Государственное союзное издательство судостроительной промышленности, 1960. – 799 с.

### REFERENS

1. Korobanov Yu. (2006). *Analiz predposylok ispolzovania metodov granichnykh elementov v sudostroitelnykh sistemakh avtomatiziro-vannogo projektirovaniia* [Tekst] / Yu. Korobanov, O. Lishchuk - // Zb. Nauk. Pr. NUK. – Mykolaev: NUK, 2006. – №2 (407). – S. 31-38.
2. Sivers N. (1966). *Raschet I konstruirovaniye sudovykh nadstroek*. [Tekst] / N. Sivers, «Sudostroenie», - 299 s.
3. Korotkin Ya. (1974). *Prochnost korablia*. [Tekst] / Ya. Korotkin, D. Rostovtsev, N. Sivers. – L., «Sudostroenie», 432 s.
4. Shimanskii Yu. (1949). *Proektirovaniye preryvistikh svyazei suovogo korpusa*. [Tekst] / Yu. Shimanskii. L., Sudpromgiz, 160 s.
5. Joseph E Shigley. *Mechanical Engineering Design*. [Tekst] / Joseph E. Shigley, Charls R. Miske, Richard G. Budynas - Seven Edition, 2003 Mc Graw – Hill. Internation Edition. 1030 p.
6. Ferdinand P. *Mechanics of Materials. SI Metric Edition*. [Tekst] / P. Ferdinand, E. Bear, Russell Johnston, JR. McGraw – Hill Ryerson Limited. 2nd Printing 1987. 610p.
7. Korobanov Yu. (2014). *Analiz koeffitsientov rjytsentratsii napriazhenii prerivistikh svyazei priuzmenenii dlini granichnogo elementa*. [Tekst] / Yu. Korobanov, A.I. Kuznetsov, A.A. Korobanova. // Zb. Nauk. Pr. NUK. – Mykolaev: NUK, 2014. – № 5. – S. 22 – 26.

8. Peterson R. E., «*Design Factors for Stress Concentration*», Machine Design. [Tekst] / R. E. Peterson, vol. 23, no.2, February 1951, p. 169.
9. Segal V.E. *Vliianie dlini prerivnoi chasti na kontsentrachiiu napriuzhenii v prerivistikh sviuziukh.* [Tekst] / V.E. Segal «Sudostroenie» №10, 1967g. S. 11 – 14.
10. *Spravochnik po stroitelnoi mekhanike korablia, tom 3.* (1960) / [Tekst] Pod obshei redacchiei akademika Yu.A. Shimanskogo. Gosudarstvennoe soyuznoe izdatelstvo sudostroitelnoi promyshlen-nosti. – L., 1960 g. 799 s.

**Коробанов Ю. М., Коршиков Р. Ю., Коршиков Ю. С. АСПЕКТИ ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА КОНЦЕНТРАЦІЇ НАПРУГ У СУДНОВИХ ПЕРЕРИВЧАСТИЙ ЗВ'ЯЗКАХ**

*У сучасних суднових конструкціях досить часто доводиться використовувати переривчасті зв'язи. Життєздатність таких суднових конструкцій з переривчастими зв'язами оцінюється значенням коефіцієнта концентрації напружень. На даний час через різноманіття форм сполучення переривчастої і безперервної частин суднової конструкції існує різний і підхід багатьох авторів до методу визначення коефіцієнта концентрації напружень. У даній роботі проведено аналіз ступеня участі переривчастого зв'язку в складі всієї суднової конструкції з позицій рівня підвищення напружень, виконано дослідження напруженого стану переривчастих зв'язів із сполученням по радіусу дуги окружності між переривчастій та безперервній частинами пластини при простому розтягненню. За основу аналізу прийняті результати розрахункових процедур методом граничних елементів (МГЕ) в порівнянні з роботами інших авторів. Використання методу граничних елементів прийнятний для вирішення інженерних задач для інших суднових конструкцій, що містять перетини, що змінюються, і концентрацію напружень. Проведений у роботі порівняльний аналіз показав, що використання такого поняття, як коефіцієнт концентрації напружень слід враховувати в залежності від того, до чого віднесені максимальні напруження. У роботі відзначено, що найбільші напруження можуть бути віднесені або до середніх напружень безперервної частини конструкції, або до середніх напружень, що виникають в області сполучення того перетину, яке відчуває ці максимальні напруження.*

**Ключові слова:** переривчастий зв'язок, розтягнення, коефіцієнт концентрації напружень.

**Korobanov Yu. M., Korshikov R. Yu., Korshikov Yu. S. ASPECTS OF DIMENTION CONCENTRATION FACTORS OF SHIPS INTERMITTENT CONNECTION**

*In modern ships construction use interrupted bracings sufficiently often. Ability to life such construction with interrupted bracings appreciate by value stress concentration factor. On account of multiformity junction of interrupted and continuous parts ships construction in modern time consider different methods of dimention value stress concentration factor by variety authors.*

*Analyses about parts of participation of interrupted bracing in all ships construction frome position increase stress are accepted in this work. The investigation of stress state of interrupted bracing with transition by radius of interrupted and continuous parts of plate for stretching is carried are accepted in this work.*

*For basis of analysis the results of calculation procedures by methods of boundary elements in comparison with studies of other authors are accepted.*

*The investigation of stress state of interrupted bracing with transition by radius of interrupted and continuous parts of plate for stretching is carried. Comparison of analysis demonstrated that usage conception value stress concentration factor, are necessary consideration to what value relate maximum stresses. There are note, that maximum stresses can be relate to mean stresses of continuous parts ships construction ore to mean stresses that cross section with maximum stress.*

**Keywords:** Interrupted bracing, extension, stress concentration factor.

© Коробанов Ю. М., Коршиков Р. Ю., Коршиков Ю. С.

Статтю прийнято  
до редакції 22.05.16